



TITLE:

クラスター模型を拡張して非中心
力を記述する手法(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

松野, 秀昭

CITATION:

松野, 秀昭. クラスター模型を拡張して非中心力を記述する手法. 京都大学, 2019, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21566>

RIGHT:

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	松野秀明
論文題目	クラスター模型を拡張して非中心力を記述する手法		
(論文内容の要旨)			
<p>原子核はシェルの性質とクラスターの性質の二面性を持つ複雑な量子多体系である。シェル模型によると、原子核を構成するそれぞれの核子(陽子・中性子)は、それ自身が作り出す一体ポテンシャル中を独立粒子運動していると考えられる。一方クラスター模型によれば、原子核中でα粒子などの強く束縛したクラスターが複数部分系として存在する。実際の原子核では、ひとつの原子核であっても状態によって両者の描像が独立に現れ、また両者の描像が混合した状態が現れることもある。このため統一的な原子核模型の確立が長年にわたって求められており、本論文ではその両者の結合を目指した。</p> <p>この論文では、クラスター模型側から出発し、模型空間を拡大することでシェル模型を包含することを目指した。クラスター模型はシェル模型計算では記述するのが難しい原子核のクラスター構造を表すのに適した模型である。一方で、従来のクラスター模型には、原子核系に非常に強く作用するスピン軌道力やテンソル力と言った非中心力の効果を議論することができないという問題点がある。本論文ではクラスター模型を拡張した新しい模型を提案し、スピン軌道力とテンソル力を効果的に取り扱う2つの研究をまとめた。</p> <p>論文の前半部分はクラスター構造におけるスピン軌道力の取り込みについてであり、^{16}O原子核のEO遷移とαクラスター構造に焦点を当てた。EO遷移は原子核のクラスター構造と深く関係する物理量であり、基底状態から低エネルギー領域の励起状態への遷移が様々なクラスター模型の枠組みで計算されている。本研究では^{16}Oの$^{12}\text{C}+\alpha$クラスター構造に着目した。具体的には、^{12}Cクラスターの部分が3α構造であるか、あるいはスピン・軌道力の作用によりシェル模型の$0p_{3/2}$閉殻構造が混ざっているかが、^{16}O基底状態からの励起状態へのEO遷移にどのような影響を及ぼすかを解析した。この際、従来のクラスター模型を発展させ、スピン・軌道力の取り扱いを可能とした。その結果、^{12}C部分にシェル模型成分が混合し、^{16}Oの励起状態のスピン構造が変化することによって、完全な4αクラスター構造を仮定した模型に比べ、基底状態からのEO遷移が抑制されることが分かった。</p> <p>論文の後半部分はクラスター模型を拡張してテンソル力の効果を記述する研究についてである。^4He原子核を基本構成粒子とするαクラスター模型は軽い核のクラスター構造をよく記述するが、一方で、ここで単純なクラスター模型では取り扱えない、テンソル力が重要な役割を果たしているということも第一原理計算などにより指摘されている。また、^8Beが2つのαクラスターからなる構造を持つことは広く知られているが、この原因として、2つのαが互いに接近するとテンソル力が抑制される効果が重要であるとする指摘もある。これを現実的核力を用いて示した研究はこれまでに無く、本研究では、クラスター模型を拡張してテンソル力の効果を記述する手法を発展させ、これらの問題に取り組んだ。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は原子核における二つの非中心力、すなわちスピン軌道力とテンソル力を、従来のクラスター模型を拡張することでクラスター模型に取り入れ、シェル模型と統一するという野心的なものである。その最初の部分は、 ^{16}O の $E0$ 遷移と $^{12}\text{C}+\alpha$ クラスター構造に関する研究である。 ^{16}O の第一励起状態は 0^+ である。この状態は、シェル模型による基底状態($0p$ 閉殻構造)からの陽子や中性子の単純な一粒子励起では説明できなく、**mysterious zero plus state**と呼ばれていたが、現在では $^{12}\text{C}+\alpha$ クラスター構造を持つことがよく知られている。本研究では、特に $^{12}\text{C}+\alpha$ クラスター構造の ^{12}C 部分に着目して ^{16}O の基底状態からの $E0$ 遷移とクラスター構造の関係を調べ、以下の2つの知見を得た。第1に、 ^{12}C クラスター部分が 3α 構造である $^{12}\text{C}(3\alpha)+\alpha$ クラスター構造に対し、スピン軌道力の作用した、 ^{12}C 部分がシェル模型の $0p_{3/2}$ 閉殻構造的である $^{12}\text{C}(0p_{3/2})+\alpha$ クラスター構造を結合させることで、 ^{16}O の基底状態から第一励起状態への $E0$ 遷移が抑制されることが分かった。この原因としては、 $E0$ 遷移が系のもつスピンの大きさを変化させないことが考えられる。スピンの0のシェル模型の閉殻的な構造を持つ基底状態からの $E0$ 遷移は、スピンの0の $^{12}\text{C}(3\alpha)+\alpha$ クラスター構造を持つ状態には起こりやすいが、有限のスピンを持つ $^{12}\text{C}(0p_{3/2})+\alpha$ クラスター構造が混ざると、基底状態との重なりが悪くなるのである。これらの議論のため、本論文ではスピン軌道力の効果を取り入れるためのクラスター模型の拡張を行い、これが非常に重要であることを示した。第2に、基底状態からの $E0$ 遷移は、 4α クラスターが正三角錐型に配置された成分を持つ励起状態に対して起こりやすいものの、逆に 4α が平面的に配置された構造が取り込まれると抑制されることが分かった。この場合、 ^{12}C クラスター部分の角運動量は良い量子数へと回復されており、このために ^{16}O の励起状態においてはこの2つ配位が等しく混合していなくてはならず、本論文ではこのことが正しい $E0$ 遷移確率の見積もりに不可欠であることを示した。

論文中では、さらにクラスター模型を拡張して、もうひとつ非中心力であるテンソル力の効果を取り入れる手法についても開発を行った。また、クラスター模型を拡張して、シェル模型的な基底状態から核子が一粒子的な励起した状態の記述も可能であることを示し、長年の課題である原子核の統一的な模型の構築へ向けて、理論の大きな進展をもたらした。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 2019 年 1 月 24 日以降